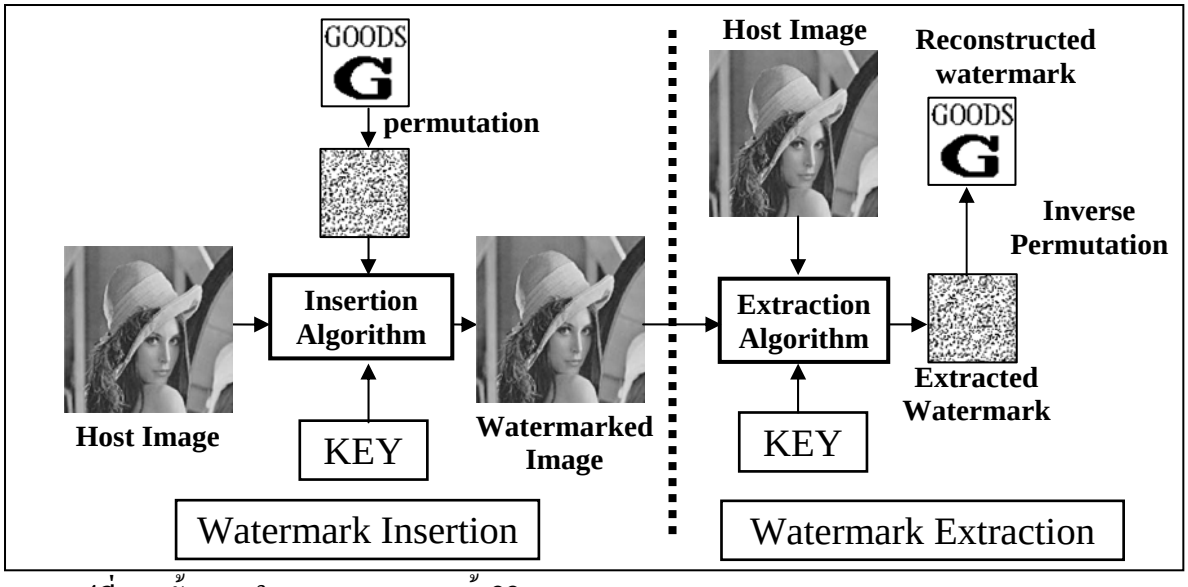
บทที่ 3
วิธีการฝังลายน้ำในสปาเชียลโดเมนด้วยวิธีของ
L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen

3.1 งานวิจัยที่ศึกษา

วิธีการฝังภาพลายน้ำในสปาเชียลโดเมนที่เสนอโดย L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen [1] เป็นการฝังลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้ และต้องใช้ภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบในการตรวจสอบลายน้ำที่ฝัง ในการฝังลายน้ำใช้ภาพต้นฉบับเป็นภาพโทนสีเทา 256 ระดับความเข้มแสง และมีภาพลายน้ำเป็นภาพไบนารี โดยภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งเป็นบล็อก จำนวนบล็อกในภาพต้นฉบับจะเท่ากับจำนวนบิตของภาพลายน้ำ เช่น ถ้าภาพต้นฉบับมีขนาด 512x512 พิกเซล และขนาดของบล็อกที่ต้องการแบ่งมีขนาด 4x4 พิกเซล ภาพลายน้ำที่ใช้ฝังจะมีขนาด 128x128 พิกเซล เป็นต้น

ก่อนทำการฝังจะทำการสลับบิตของภาพลายน้ำให้เป็นภาพใหม่ขนาดเท่าเดิม เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้อื่นทราบว่าภาพลายน้ำที่ฝังเป็นภาพอะไร จากนั้นในขั้นตอนการฝังก็จะใช้กุญแจลับเพื่อสุ่มเลือกตำแหน่งบล็อกที่จะนำลายน้ำแต่ละบิตไปฝัง ซึ่งจะทำให้ภาพลายน้ำกระจายกันอยู่ทั่วทั้งภาพ โดยกุญแจลับนี้จะใช้ในขั้นตอนการถอดภาพลายน้ำออกจากภาพต้นฉบับด้วย การกำหนดค่าที่ใช้ในการฝังแทนค่าบิตของลายน้ำ จะมีคุณสมบัติเป็น Adaptive กล่าวคือ จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามค่าความเข้มแสงต่ำสุด ค่าความเข้มแสงสูงสุด ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ค่าน้ำหนัก และค่าอื่นๆ ที่เป็นค่าข้อมูลของพิกเซลภายในบล็อกที่จะทำการฝัง รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการฝังลายน้ำของ L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการทำภาพลายน้ำดิจิตอลของ L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen

3.2 วิธีการฝังลายน้ำของงานวิจัยที่ศึกษา

ในขั้นตอนการฝังลายน้ำแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Watermark Permutation Algorithm และ Watermark Embedding

3.2.1 Watermark Permutation Algorithm

โดยใช้ Pseudo-random number เป็น key ในการสลับบิตของลายน้ำ จากนั้นนำลายน้ำมาใส่ลงในแต่ละบล็อกโดยแต่ละบล็อกก็ใส่ลงไป 1 บิต ขั้นตอนในการสลับบิตของลายน้ำกำหนดดังนี้

ให้ W_q เป็นภาพลายน้ำต้นฉบับและ W_p เป็นภาพลายน้ำที่ถูกสลับบิตแล้ว

$$W_p = \{w_p(i,j) = w_q(i',j') \mid 1 \le i,i' \le M \ \ and \ \ 1 \le j,j' \le N\}$$

เมื่อ M และ N คือ ความกว้างและความยาวของภาพลายน้ำตามลำดับ ขั้นตอนการทำงานของการ Permutation มีดังนี้

Step 1 กำหนดค่า Index ให้กับแต่ละพิกเซล โดยที่ค่า Index ของแต่ละพิกเซลจะมีค่าอยู่ที่ 1 ถึง M x N

Step 2 สุ่มเลือกค่า q ของฟังก์ชัน Pseudo Random เพื่อกำหนดรูปแบบการจับคู่พิกเซล $W_p(i,j)$ และ $W_q(i',j')$

Step 3 เปลี่ยนค่าพิกเซลใน W_p มาเป็นค่าพิกเซลใน W_q

3.2.2 Watermark Embedding

สิ่งสำคัญของการฝังภาพลายน้ำ คือภาพที่ฝังลายน้ำแล้วต้องไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง และลายน้ำที่ฝังอยู่ต้องคงทนต่อการโจมตี ก่อนที่จะฝังลายน้ำภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกที่มีขนาด n x n และภาพลายน้ำที่ถูกสลับบิตแล้วจะถูกนำมาฝังลงในภาพต้นฉบับ

โดยฝัง 1 บิตต่อ 1 บล็อก ตำแหน่งของบล็อกที่ฝังบิตลายน้ำจะถูกเลือกโดยใช้ pseudo random โดยมีกุญแจ k ที่ใช้ในการฝัง ค่า k นั้นเหมือนเป็นกุญแจลับ การฝังลายน้ำมีขั้นตอนดังนี้

ถ้ากำหนดให้ B เป็นบล็อกที่ถูกเลือก

Step 1 เรียงลำดับพิกเซลในบล็อก B ทั้งหมดจากค่าความเข้มแสงน้อยไปค่าความเข้มแสงมาก

Step 2 คำนวณค่า g_{mean}, $g_{\min}$, และ $g_{\max}$ ของบล็อก

$$g_{mean} = \frac{1}{n^2}\sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{n-1} b_{ij}$$

$$g_{\min} = \min(b_{ij}, 0 \le i, j < n)$$

$$g_{\max} = \max(b_{ij}, 0 \le i, j < n)$$

Step 3 แบ่งทุกๆ พิกเซลในบล็อก B ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

$b_{ij} \in Z_H$ if $b_{ij} > g_{mean}$

$b_{ij} \in Z_L$ if $b_{ij} \le g_{mean}$

โดยที่ Z_H และ Z_L เป็นเซ็ตที่ประกอบด้วยพิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงสูงกว่าค่า *Mean* และพิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า *Mean* ตามลำดับ

Step 4 คำนวณค่า *Mean* ของ Z_H และ Z_L เรียกว่า M_L และ M_H

Step 5 กำหนดค่าคงที่ของแต่ละบล็อก

$$C_B = \max(C_{\min}, \alpha(g_{\max} - g_{\min})),$$

เมื่อ α คือค่าคงที่ และ $C_{\min}$ คือค่าคงที่ที่กำหนดขึ้นเพื่อควบคุมมิให้ค่า C_B น้อยกว่านี้

Step 6 สมมุติว่าค่าที่จะฝังคือ b_w เป็นค่า 0 หรือ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลในบล็อก B เป็นไปตามกฎนี้

if $b_w = 1$

$g' = g_{\max}$ *if* $g > M_H$,

$g' = g_{mean}$ *if* $M_L \le g < M_{mean}$,

$g' = g + \delta$ *if* otherwise,

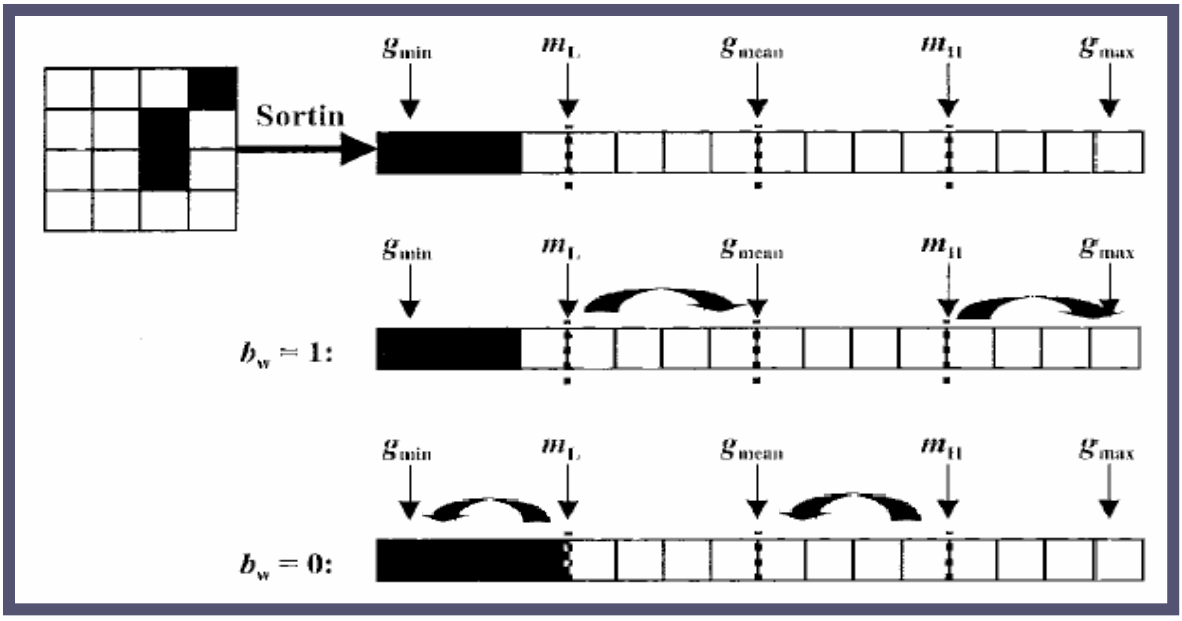
if $b_w = 0$

$g' = g_{\min}$ *if* $g < M_L$,

$g' = g_{mean}$ *if* $M_{mean} \le g < M_H$,

$g' = g - \delta$ *if* otherwise,

โดยที่ค่า δ คือค่าที่สุ่มมาโดยมีค่าระหว่าง 0 ถึง C_B เหตุผลที่ต้องสุ่มมาเพื่อให้ค่าของลายน้ำไม่เป็นค่าที่เท่ากันจนสามารถสังเกตได้ ดังรูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการปรับความเข้มแสงภาพในบล็อก



รูปที่ 3.2 การปรับค่าในกรณีที่บิตลายน้ำ (b_W) เป็น 0 และ 1

บิตลายน้ำจะถูกฝังลงในแต่ละบล็อก ถ้าค่าความเข้มแสงภายในบล็อกมีความแตกต่างกันมาก การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของบล็อกนั้นก็จะมากตามไปด้วย ถ้าบล็อกนั้นมีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกันมาก (Smooth) การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงก็จะน้อยตามไปด้วย หรือเป็นค่าที่สุ่มมาโดยมีค่าระหว่าง 0 ถึง C_B

3.3 วิธีการตรวจสอบลายน้ำ

การตรวจสอบลายน้ำจากภาพที่ถูกฝัง กระทำโดยแบ่งบล็อกของภาพที่ต้องการตรวจสอบลายน้ำในแบบเดียวกับการฝัง แล้วทำการเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ โดยการเปรียบเทียบนั้นจะเป็นแบบบล็อกต่อบล็อก โดยเปรียบเทียบบล็อกที่ตรงกันเท่านั้น ถ้าให้ S_W เป็นผลรวมของค่าความเข้มแสงในบล็อกที่มีลายน้ำอยู่ และ S_H คือผลรวมค่าความเข้มแสงของบล็อกในภาพต้นฉบับแล้ว ค่าบิตลายน้ำ (b_w) ที่ตรวจสอบได้จะมีค่าดังนี้

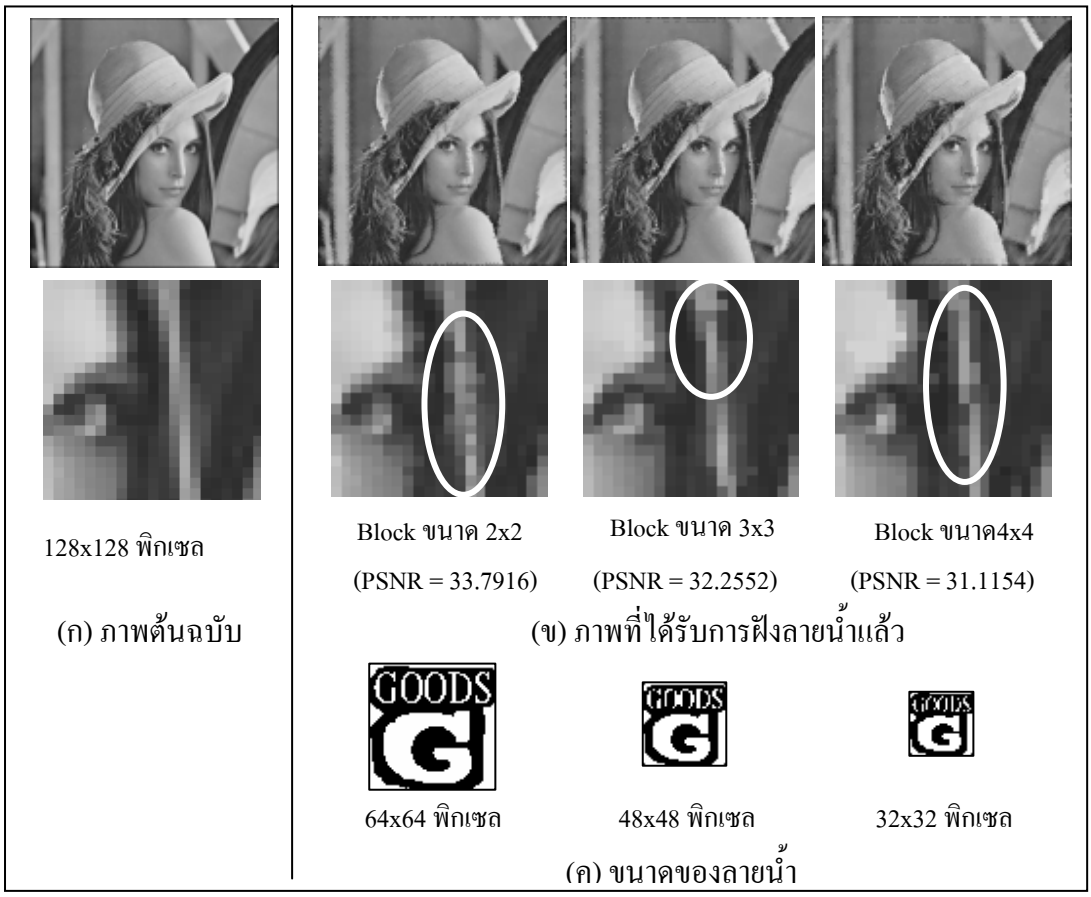
$b_w = 1$ ถ้า $S_W > S_H$

$b_w = 0$ ในกรณีอื่นๆ

เมื่อทำการตรวจสอบลายน้ำครบทุกบิตแล้ว ก็จะทำ Inverse Permutation ภาพไบนารีที่ได้ โดยใช้ค่าที่สุ่มเลือกไว้ในขั้นตอนการทำ Permutation ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพลายน้ำที่ซ่อนไว้

3.4 ผลการทดลอง

ในที่นี้ได้ทำการทดสอบวิธีการของ L.Chang - Hising และ L. Yeuan - Kuen [1] โดยนำโปรแกรมที่พัฒนาบน MATLAB ที่ L.Chang – Hising และ L. Yeun – Kuen เขียนไว้มาทดสอบกับรูปภาพ Lenna [1] ขนาด 128x128 พิกเซล ในที่นี้ผู้วิจัยเลือกที่จะฝังภาพลายน้ำโดยใช้บล็อกขนาด 4x4, 3x3 และ 2x2 พิกเซล และใช้ลายน้ำขนาด 32x32, 48x48 และ 64x64 พิกเซลตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผลลัพธ์ของการฝังลายน้ำด้วยวิธีของ L.Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen

รูปที่ 3.3 (ก) แสดงภาพต้นฉบับขนาด 128x128 พิกเซลและส่วนขยายบริเวณเส้นผม รูปที่ 3.3 (ข) แสดงภาพหลังจากการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกขนาด 2x2, 3x3 และ 4x4 พิกเซลและส่วนขยายบริเวณเดียวกัน รูปที่ 3.3 (ค) แสดงภาพลายน้ำที่ใช้กับภาพในรูปที่ 3.3 (ข)

จากรูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) พบว่าวิธีการของ L.Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen [1] นี้จะทำให้ภาพเกิดความแตกต่างในบริเวณที่มีการเปลี่ยนของสีอย่างรวดเร็วหรือขอบของสีในภาพ สังเกตจากภาพขยายบริเวณเส้นผม

จากรูปที่ 3.3 (ค) พบว่าเมื่อใช้บล็อกขนาดใหญ่จะทำให้ได้ลายน้ำขนาดเล็กลง ซึ่งถ้าลายน้ำมีขนาดเล็กมาก ก็จะทำให้มองเห็นรายละเอียดของลายน้ำได้ไม่ชัดเจน และไม่สามารถใช้ลายน้ำที่มีลวดลายซับซ้อนได้

ดังนั้นถ้าพิจารณาว่าขนาดของลายน้ำเป็นสิ่งสำคัญ ก็ควรจะเลือกบล็อกที่มีขนาดเล็ก แต่บล็อกที่มีขนาดเล็ก แม้จะทำให้ได้ลายน้ำที่มีขนาดใหญ่ ก็จะทำให้ความคงทนต่อการโจมตีลดลง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการโจมตีภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำด้วยวิธีการของ L.Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen โดยใช้บล็อกขนาด 2x2, 3x3, 4x4 พิกเซล

การโจมตี	ขนาดบล็อก 2x2	ขนาดบล็อก 3x3	ขนาดบล็อก 4x4	การโจมตี	ขนาดบล็อก 2x2	ขนาดบล็อก 3x3	ขนาดบล็อก 4x4
Original	E = 0 %	E = 0 %	E = 0 %	JPEG75	E=26.56%	E=12.47%	E=2.83%
LPF	E=43.90%	E=34.24%	E=24.71%	JPEG50	E=32.91%	E=19.27%	E=8.11%
MF	E=30.25%	E=19.50%	E=10.06%	JPEG25	E=38.84%	E=27.27%	E=15.53%
Scale	E=44.60%	E=36.17%	E=26.07%	27% Crop	E=33.74%	E=33.45%	E=31.64%
JPEG100	E=2.73%	E=1.42%	E=0.29%	Rotation	E=32.35%	E=20.69%	E=13.09%
				E_{AVG}	31.77%	22.72%	14.70%

ตารางที่ 3.1 แสดงภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการโจมตีภาพด้วยวิธี 3x3 Low Pass Filter (LPF), 3x3 Median Filter (MF), 50% Scale Down, บีบอัดด้วย JPEG คุณภาพ 100, 75, 50

และ 25, 27% Crop และ Rotation 12 องศาจุดหมุนอยู่ที่จุดกึ่งกลางของภาพ โดยภาพที่ถูกโจมตีคือภาพในรูปที่ 3.3 (ข) ซึ่งถูกฝังลายน้ำด้วยวิธีของ L.Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen [1] กำหนดให้ขนาดของบล็อกเป็น 2x2, 3x3 และ 4x4 พิกเซล

ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของภาพลายน้ำที่ถอดได้กับภาพลายน้ำต้นฉบับ (Average Percentage Error) คำนวณจากสมการ

$$E_{AVG} = \frac{\sum E}{n} \tag{3.1}$$

โดยที่

$$E = \left(\frac{\sum | w(i, j) - W(i, j) |}{P \times Q} \right) \times 100 \tag{3.2}$$

กำหนดให้

E_{AVG} คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย

E คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของภาพลายน้ำที่ถอดได้กับภาพลายน้ำต้นฉบับ

n คือ จำนวนวิธีที่ใช้โจมตีภาพ

W คือ ภาพลายน้ำต้นฉบับที่เป็นไบนารี

w คือ ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตีเป็นไบนารี

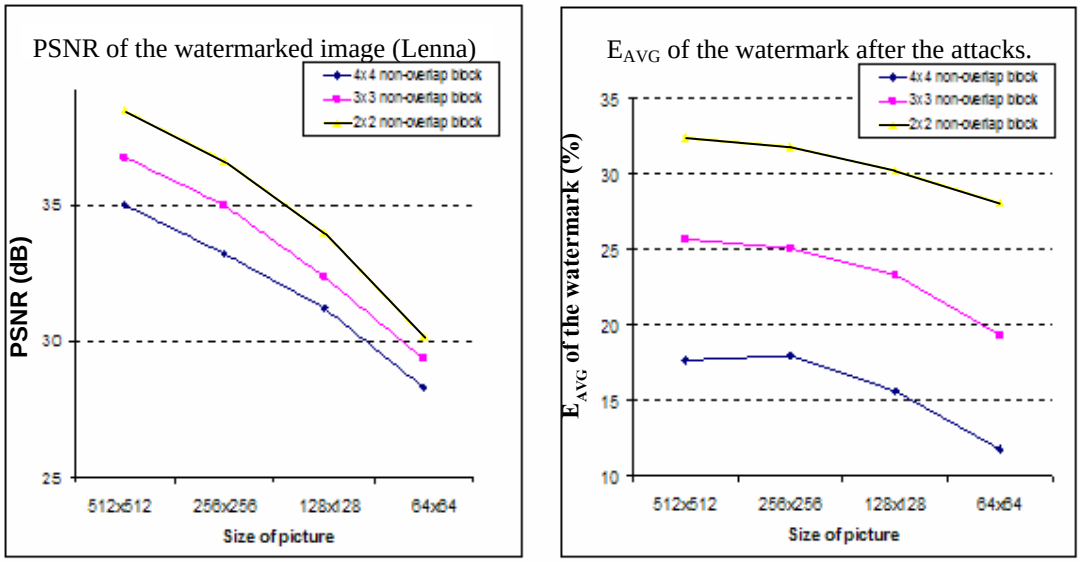
P คือ ความกว้างของภาพลายน้ำ

Q คือ ความยาวของภาพลายน้ำ

i คือ ตำแหน่งคอลัมน์ โดยที่ i $\in$ $\{1, 2, 3, \ldots, P\}$

j คือ ตำแหน่งแถว โดยที่ j $\in$ $\{1, 2, 3, \ldots, Q\}$

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงค่า PSNR ของภาพที่ฝังลายน้ำแล้วและค่า E_{AVG} ของลายน้ำหลังจากถูกโจมตี

จากผลการทดลองเมื่อนำค่า PSNR ของภาพหลังจากการฝังลายน้ำและ E_{AVG} ของลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตีมาแสดงเป็นกราฟเชิงเส้นเปรียบเทียบ โดยกำหนดให้ภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กลงเท่ากับ 512x512, 256x256, 128x128 และ 64x64 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 3.4 พบว่า

- กรณีที่ขนาดบล็อกคงที่
  - ถ้าภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กลงค่า PSNR ของภาพที่ฝังลายน้ำแล้วจะลดลง เนื่องจากเมื่อภาพต้นฉบับถูกย่อให้เล็กลงโดยขนาดของบล็อกไม่เปลี่ยน ค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกจะแตกต่างกันมากขึ้น ทำให้เกิดการปรับค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกเพื่อฝังลายน้ำมากขึ้น จึงเป็นเหตุให้ภาพที่ฝังลายน้ำแล้วแตกต่างไปจากภาพต้นฉบับมากขึ้น
  - ถ้าภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กลง ลายน้ำจะคงทนต่อการโจมตีมากขึ้น (E_{AVG} ลดลง) เป็นผลสืบเนื่องมาจากการปรับค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกที่มากขึ้น ทำให้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความเข้มแสงดังกล่าวไม่ถูกทำลายให้หมดไปโดยง่าย กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าลายน้ำที่ฝังอยู่ไม่ถูกทำลายโดยง่ายด้วยการโจมตีทั้ง 9 วิธี
- กรณีที่ขนาดของภาพคงที่
  - เมื่อบล็อกมีขนาดใหญ่ค่า PSNR ของภาพหลังจากฝังลายน้ำจะลดลง การที่เมื่อบล็อกมีขนาดใหญ่จะทำให้ค่าความเข้มแสงภายในบล็อกมีค่าแตกต่างกันมาก และการปรับค่าก็จะมากตามไปด้วย เป็นเหตุทำให้ค่า PSNR ลดลง

- เมื่อบล็อกมีขนาดใหญ่ ลายน้ำจะคงทนต่อการโจมตีมากขึ้น (E_{AVG} ลดลง) เพราะเมื่อบล็อกมีขนาดใหญ่ จะทำให้ค่าความเข้มแสงภายในบล็อกมีค่าแตกต่างกันมากขึ้น และการปรับค่าความเข้มแสงในบล็อกเพื่อฝังลายน้ำก็จะมากตามไปด้วย ทำให้การเปลี่ยนไปของค่าความเข้มแสง (หรืออีกนัยหนึ่งคือลายน้ำที่ฝังอยู่) ไม่ถูกทำลายโดยง่าย

3.6 ข้อจำกัดของงานวิจัยที่ผ่านมา

- วิธีการที่มีอยู่นั้นถ้าภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กจะทำให้ไม่สามารถฝังภาพลายน้ำที่มีขนาดใหญ่พอที่จะเห็นรายละเอียดของลายน้ำลงไปได้ เช่น ถ้าต้องการฝังภาพลายน้ำลงในภาพขนาด 128X128 พิกเซล แล้วใช้บล็อกขนาด 4X4 พิกเซล จะทำให้ภาพลายน้ำมีขนาด 32X32 พิกเซล เท่านั้น ซึ่งถ้าภาพลายน้ำนั้นเป็นภาพของตราสัญลักษณ์ที่มีรายละเอียดมากจะไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดได้
- วิธีในการฝังภาพลายน้ำเป็นแบบ Adaptive ซึ่งก็มีข้อดีคือการฝังบิตลายน้ำจะปรับเปลี่ยนไปตามภาพต้นฉบับ แต่มีข้อจำกัดคือถ้าผู้ใช้ไม่พอใจในการปรับเปลี่ยนนั้นๆ ก็ไม่สามารถแก้ไขได้ ทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้มากเท่าที่ควร
- เมื่อพิจารณาด้วยสายตาจะพบความแตกต่างอย่างมากในบริเวณที่เป็นขอบของสีในภาพ

3.7 สิ่งที่ต้องการพัฒนา

- พัฒนาวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในภาพต้นฉบับที่มีขนาดเล็กและขนาดของภาพลายน้ำยังใหญ่พอที่จะเห็นรายละเอียดได้
- พัฒนาการฝังลายน้ำโดยให้ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกที่จะเปลี่ยนค่าความเข้มแสงมาก ซึ่งจะทำให้ให้ลายน้ำที่ฝังอยู่คงทนต่อการโจมตี (Robust) หรือเลือกที่จะเปลี่ยนค่าความเข้มแสงน้อย ซึ่งทำให้ลายน้ำซ่อนตัวได้ดี (Invisible)

โดยความคงทนของลายน้ำต้องไม่น้อยกว่าวิธีการเดิมที่มีอยู่